

## Приложение теории нейросетей к технико- экономическому моделированию проектов инновационной экономики

**Лазарев Игорь Алексеевич** — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАЕН.

**Хижа Георгий Степанович** — доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии.

**Лазарев Кирилл Игоревич** — специалист в сфере медицинских информационных технологий.

**В** последнее время многие публикации посвящены актуальной проблеме — модернизации российской экономики и ее переходу на инновационный путь развития. Результаты практического решения этой проблемы в значительной мере зависят от имеющихся возможностей обеспечения замещения создаваемого интеллектуального капитала финансовым капиталом. Без эффективного функционирования подобной системы замещения трудно рассчитывать на достижение желаемого результата.

По определению инновация — это результат инвестирования в разработку и получение нового знания, ранее не применявшейся идеи по обновлению сфер жизни людей (технологии, изделия; такие организационные формы существования социума, как образование, управление, организация труда, обслуживание, наука, информатизация и т.д.). Предполагается последующий этап внедрения инноваций в производственный процесс с фиксированным получением дополнительной ценности (прибыль, опережение, лидерство, приоритет, коренное улучшение, качественное превосходство, креативность, прогресс). Таким образом, инновационный процесс включает следующие этапы: инвестиции — разработка — процесс внедрения — получение качественного улучшения.

Понятие «инновация» относится как к радикальным, так и постепенным (инкрементальным) изменениям в продуктах, процессах и стратегии организации «инновационной деятельности». Исходя из того что целью нововведений является повышение эффективности, экономичности, качества жизни, понятие «инновационность» можно отнести ко всем основным сферам деятельности.

Ожидается, что формирование новой экономической системы с широким использованием сетевых механизмов управления и гло-

бализации экономики приведет к существенному росту взаимозависимости субъектов хозяйственной деятельности, при которой достижение максимальной выгоды для каждого из них становится возможным только при обеспечении системной координации совместной деятельности. Обмен информацией между носителями новых знаний, финансовыми институтами и производителями инновационной продукции обеспечивает возможность материализации этих знаний в интересах всех участников экономической, производственной, предпринимательской и финансовой деятельности.

Переход на инновационный путь экономического развития предполагает создание необходимых мотиваций и возможностей для активации его инновационной составляющей, включая использование новых информационных механизмов самоорганизации и гармонизации процессов развития социально-экономических систем, формирование новой философии и методологии управления, интенсивное развитие систем образования, повышение эффективности использования невозобновляемых природных минеральных ресурсов, повышение роли государства в геополитических отношениях.

Российские научно-исследовательские, образовательные и производственные организации обладают значительными интеллектуальными ресурсами, а финансовые институты — относительно большими свободными финансовыми ресурсами, которые могли бы более интенсивно вкладываться в инновационное развитие реальной инновационной экономики. Но в России этого пока не происходит, а многие процессы фактически противоречат условиям формирования инновационной экономики.

В общем случае функционирование инновационной экономики

основано на капитализации результатов интеллектуальной деятельности (создание интеллектуального капитала) и многократном его замещении финансовым капиталом. Инновационный процесс реализуется с участием всех основных субъектов инновационной деятельности. Государство финансирует развитие фундаментальной науки через научные гранты, вложения в инновационную инфраструктуру и финансирование на конкурсной основе исследований и разработок

## **Формированию и развитию инновационной экономики в России препятствует отсутствие спроса со стороны крупного бизнеса на инновационный продукт.**

с целью получения новых инновационных идей. При этом изобретения и патенты на их использование приобретаются частными фирмами, чьи акции покупают инвесторы в надежде на получение сверхприбыли. В результате инновационная экономика получает следующий приток финансирования уже не за счет государства, а за счет частных инвесторов.

Еще на этапе, предшествующем практической реализации разработок, созданные инновационные технологии приобретаются крупными корпорациями, инновационными и венчурными фондами и т.д. Таким образом, еще до того, как начнется производство опытных образцов на основе инновационных разработок, рынок инноваций начинает привлекать иностранных инвесторов, производственные компании, способные обеспечить практическую реализацию технологических новинок. В конце этой цепочки инновационного процесса идет замещение капитала конечным потребителем изделий, в которых собраны самые разнообразные инновационные разработки. При этом никто не финансирует

всю цепочку от научной идеи до конечного изделия.

Замещение капитала происходит одновременно на нескольких рынках, и коммерческая рентабельность замещения капиталов растет на каждом этапе инновационного процесса. При этом инновационные идеи, еще не имеющие практического значения на начальных этапах инновационного процесса, уже закладываются в основу новых рынков инновационных продуктов.

Следовательно, инновационная экономика формируется через образование новых рынков. На новых рынках идей, разработок, интеллектуальной собственности, *инновационных продуктов* «разбираются» старые структуры экономики и переводятся в новое качество. Создается рынок новых организационных форм для компаний и структур инновационной экономики. Используются такие организационные формы, как технопарки при университетах, корпоративные учебные центры, кластеры среднего и малого бизнеса, бизнес-инкубаторы для инновационных компаний, центры трансфера технологий при исследовательских институтах, специальные торговые площадки для инновационной сферы.

Рассмотренный инновационный процесс с многоэтапным замещением капиталов может развиваться только при условии наличия спроса рынка на инновационный продукт. К сожалению, формированию и развитию инновационной экономики в России препятствует именно отсутствие спроса со стороны крупного бизнеса на инновационный продукт и, как следствие, спроса на результаты

научных исследований и разработок. В результате этого инновационная инфраструктура не развивается и не происходит коммерциализации научных разработок, то есть превращения инновационных разработок в рыночные товары.

В многочисленных публикациях по проблемам формирования и развития инновационной экономики в России как необходимого условия модернизации существующей экономической системы высказываются различные точки зрения и предложения. При этом одной из основных проблем называется низкий уровень конку-

рентности в соотношении 1:112. При этом вложения крупнейших российских корпораций в научные разработки и их внедрение составили 800 млн долл., а мировой крупный бизнес в 2009 г. вложил в новые разработки 532 млрд долл. [1].

Безусловно, необходимы активные меры, нацеленные на привлечение средств российского крупного капитала в развитие инновационной экономики, а также формирование эффективных механизмов повышения коммерческой привлекательности вложения капитала в инновационную деятельность. Но представляется

конкурентоспособности в мире. Следовательно, для формирования и развития инновационной экономики требуется создание инфраструктуры информационного обеспечения процессов корпоративной организации и самоорганизации взаимодействия всех ее функциональных компонентов.

Однако создание указанной корпоративной системы обмена знаниями и технологиями будет иметь практический смысл, если носители компонентов общественной области знаний проявят готовность и финансовую заинтересованность в организации обмена знаниями и информацией. Должна обеспечиваться возможность приложения структурно организованных компонентов предметных знаний к различным сферам деятельности с соблюдением этических норм сотрудничества. Естественно, при этом должна быть сформирована и реализована модель корпоративной инновационной деятельности, обеспечивающей достаточную мотивацию и материальную заинтересованность участников этой кооперации.

Практической реализации процесса замещения интеллектуального капитала финансовым в российской экономике препятствует ряд причин, но одной из основных является значительный разрыв между процессами формирования инновационных знаний и их материализацией. Интеллектуальный капитал как экономическая категория может существовать только в рыночной экономике, в условиях рынка, когда способность к труду является товаром, приносящим не только стоимость, но и прибавочную стоимость. Рынок платит только за то, что обладает ценностью.

До перехода России к рыночной экономике форма представления знаний не была ориентирована на их капитализацию, а для представления этих знаний в актив-

## **Эффективность финансовых вложений в инновации в России и США находится в соотношении 1:112.**

ренции в российской экономике, при котором спрос на инновации на внутреннем рынке фактически отсутствует, а на внешнем рынке отечественная продукция является в основном неконкурентоспособной.

Многие специалисты высказывают мнение, что модернизировать российскую экономику и обеспечить активизацию инновационной деятельности только за счет финансовой поддержки со стороны государства практически невозможно. В 2009 г. государство затратило на финансирование различных инновационных проектов 1,15 трлн руб., из них 384 млрд — прямые инвестиции в исследования и разработки; 766 млрд — инновационные затраты госкомпаний. Эти затраты примерно вдвое превышают затраты США за тот же период на поддержку инновационной деятельности, которые составили 17,6 млрд долл. Но если в России было запущено 50 инновационных проектов, то, по официальным данным, в США — 2795 проектов. Таким образом, эффективность финансовых вложений в инновации в России и США на-

также необходимым обеспечить спрос на российскую инновационную продукцию на внутреннем и мировом рынках. Для этого разрабатываемая и создаваемая продукция должна соответствовать потребностям рынка, а результаты инновационной деятельности должны обеспечивать формирование новых его сегментов, включая рынок интеллектуальной собственности, рынок инвестиций, рынок знаний и идей, рынок новых организационных форм инновационной экономики, рынок услуг в сфере аренды и эксплуатации сложного научно- и высокотехнологического оборудования.

Активизация формирования инновационной экономики связана с форсированным созданием отечественной инновационно-инжинирингово-инвестиционной сетевой инфраструктуры, распределенной по всем регионам. Стратегической целью развития инновационной деятельности и формирования инновационной экономики в России на ближайшие годы должно быть комплексное развитие отечественных производств и территорий до уровня их

ной форме требуются значительные затраты временных и материальных ресурсов. Причем пользователь этих знаний фактически не имеет возможности активно участвовать в их трансформации в соответствии со спецификой предполагаемой сферы их практического приложения. В то же время способность экономики создавать и эффективно использовать интеллектуальный капитал все в большей мере определяет экономическую силу нации, ее благосостояние. Открытость общества для импорта знаний, идей, информации, способность экономики продуктивно их перерабатывать определяет в современных условиях потенциал успешного социально-экономического развития любой страны.

Очевидно, что замещение капитала в процессе инновационной деятельности нельзя сводить к традиционным операциям «купли» и «продажи», поскольку речь идет не о существующем товаре, а о потенциальных возможностях производства нового товара. Интеллектуальный капитал отличается от физического капитала по степени ликвидности. Интеллектуальный капитал не является оборотным активом, только его услуги или отдельные элементы, пригодные для патентования знания, могут быть куплены или проданы. Интеллектуальный капитал неотделим от его носителя и вследствие этого в качестве актива почти полностью неликвиден.

Существует точка зрения, что в современных условиях интенсивного развития информаци-

онных сетей и компьютерных баз данных наряду с превращением знания в основной предмет и продукт труда требуется замещение самого понятия «средства производства» более адекватным новой эпохе понятием «модели общения», а также замещение материальной составляющей стоимости компании гудвиллом. Например, для компаний, ориентированных на активное участие в развитии новой информационной и инновационной экономики, характерен высокий удельный вес нематериальных активов и ресурсов в структуре их стоимости (в отличие от компаний традиционных отраслей, стоимость которых по большей части формируется за счет материальной составляющей — активов компании).

Покупатель интеллектуального инновационного продукта, принимая решение о его замещении финансовым капиталом, должен иметь возможность достаточно объективной оценки потенциальной ценности этого продукта при его материализации в перспективе. Эта оценка в рыночных условиях должна осуществляться при активном участии самого покупателя, поскольку она связана с принятием решения с высоким уровнем неопределенности и риска.

Следовательно, покупатель инновационного интеллектуального продукта должен иметь инструментарий оценки его потенциальной коммерческой привлекательности с учетом возможности практической реализации в соответствующей сфере производственной, экономической

и финансовой деятельности. При этом требуется адаптация приобретаемого интеллектуального продукта к сфере его практического приложения, а потому он должен быть представлен в такой форме и виде, чтобы покупатель, используя доступный инструментарий, мог найти наиболее рентабельный вариант его практической реализации.

Представляется, что определенные перспективы решения указанной задачи могут быть связаны с развитием нейросемантических технологий и нейросетей (нейромира). Идея нейромира не нова. В ее основе лежит идея использования в качестве аналога механизмов функционирования биологических нейронных систем для построения систем искусственных (математических) нейронов. Это обеспечивает замещение сложных математических конструкций, отображающих объекты реального мира, значительно более простыми образными конструкциями в виде нейросетей [2–4].

В общем случае нейросетевой подход — это замена сложной *алгоритмической* процедуры решения задачи распределенной структурой *простых преобразований*, позволяющих решить эту же задачу. Наличие высокопроизводительных и дешевых аппаратных средств ЭВМ и дорогостоящего и инерционного труда программистов позволяет говорить о том, что нейросетевой подход открывает перспективы широкомасштабной автоматизации обширного класса процессов с ис-

Компьютерные системы, в которых исследователи стремятся воплотить принципы организации мозга, получили название нейрокомпьютеров. Иногда их называют нейронными сетями. Многие из этих принципов заимствованы из новой перспективной области исследований, нелинейной динамики (или нелинейной науки *nonlinear science*). Один из главных принципов этой науки — рассматривать память и мышление как коллективный процесс, как творчество ансамбля, а не отдельных солистов-нейронов. Тут очень подходит слово «самоорганизация» — спонтанное возникновение упорядоченности в открытых системах.



пользованием нейрокомпьютеров, охватывающей практически все аспекты жизнеустройства.

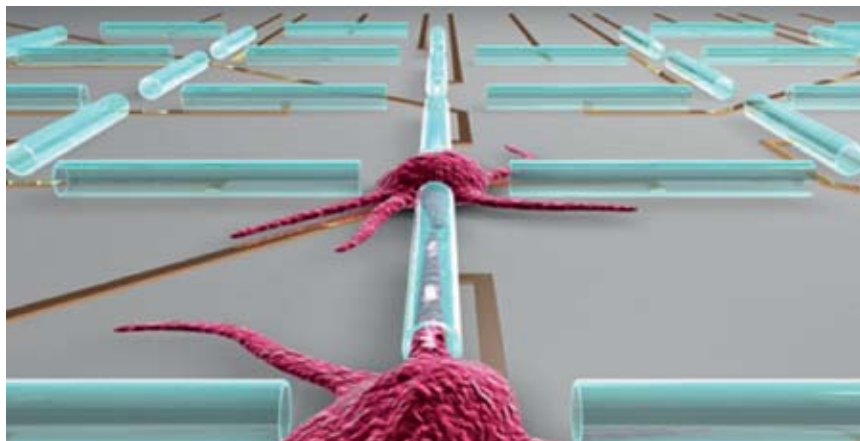
Нейрокомпьютер представляет собой устройство, позволяющее перерабатывать информацию на основе принципов работы естественных нейронных систем. Эти принципы были формализованы, что позволило говорить о теории искусственных нейронных сетей. В отличие от цифровых систем, представляющих собой комбинации процессорных и запоминающих блоков, нейропроцессоры содержат память, распределенную в связях между очень простыми процессорами, которые часто могут быть описаны как формальные нейроны или блоки из однотипных «математических» нейронов. Тем самым основная нагрузка на выполнение конкретных функций процессорами ложится на архитектуру системы, детали которой в свою очередь определяются межнейронными связями.

## Многие процессы в мозге и нейрокомпьютерах очень похожи.

Вот основные преимущества нейрокомпьютеров.

1. Все алгоритмы нейроинформатики высоко параллельны, а это залог высокого быстродействия.
2. Нейросистемы можно легко сделать очень устойчивыми к помехам и нарушениям.
3. Устойчивые и надежные нейросистемы могут создаваться и из относительно ненадежных элементов, имеющих значительный разброс параметров.

Особые перспективы практического использования нейросетей связывают именно с реализацией механизмов их самоорганизации по аналогии с биологическими нейросистемами. Мысль построить вычислительные и управляющие системы по образу и подобию мозга возникла почти пол-



века назад на заре кибернетики. Многие процессы в мозге и нейрокомпьютерах очень похожи.

Более сотни лет назад основатель нейронауки Ю Сантьяго Рамони-Кахаль установил, что мозг состоит из нейронов. Нейроны получают сигналы с помощью разветвленных отростков — дендритов, а посылают с помощью неразветвленных — аксонов. В мозге

человека примерно сто миллиардов нейронов. Однако большинство из них очень похожи друг на друга, и это упрощает интерпретацию функционирования «квазинейронных» систем.

Математический нейрон собирает информацию от ансамблей нейронов, с которыми связан синапсами. Нейрон «взвешивает» входные сигналы и либо генерирует импульс, который будет восприниматься синапсами соседних нейронов, либо воздерживается от этого. Передача информации между взаимодействующими ансамблями нейронов осуществляется за счет электрических импульсов.

Компьютер может с фантастической скоростью выполнить сложнейшую программу — огромный набор доскональных инструкций. Но выполнив их, он так и останет-

ся мертвой машиной, не научившейся чему-либо. Он не обладает способностью к обучению. При использовании нейросетевой парадигмы в модели сохраняются связи между нейронами. Именно этим объясняется удивительная пластичность мозга, которая получила название коннекционизма (от англ. *connection* — связь), и способность к обучению.

Искусственная нейронная сеть может передаваться от (нейро)компьютера к другому (нейро)компьютеру, так же как компьютерная программа. Более того, на ее основе могут быть созданы специализированные быстродействующие аналоговые устройства. Имеется несколько уровней отчуждения нейронной сети от сети, обучающейся на универсальном компьютере с использованием богатых возможностей манипулирования алгоритмами обучения и модификации архитектуры, использования ассоциаций. Одним из способов подготовки нейронной сети для передачи является ее вербализация: обученную нейронную сеть минимизируют, сохраняя полезные навыки. Описание минимизированной сети компактнее и допускает более понятную интерпретацию.

В нейрокомпьютинге постепенно формируется новое направление, основанное на соединении биологических нейронов с электронными элементами. По анало-

гии с *software* (программное обеспечение) и *hardware* (аппаратное обеспечение) эти разработки получили наименование *wetware*. В настоящее время уже существует технология соединения биологических нейронов со сверхминиатюрными полевыми транзисторами с помощью нановолокон (*nanowire*). В разработках используется современная нанотехнология — соединения между нейронами и электронными устройствами создаются с помощью углеродных нанотрубок.

Практическое развитие искусственных нейросистем связано в первую очередь с моделированием, которое реализуется с использованием нейропакетов, нейроплат и нейрокомпьютеров. Для исследования построенной модели нейросети (с заданными характеристиками элементов, архитектурой и обучающими правилами) применяют три основных метода: аналитическое исследование, математическое (имитационное) и физическое моделирование.

Сложность аналитического исследования коллективного поведения сети обусловлена наличием большого числа взаимодействующих нелинейных нейроподобных элементов. Физическое моделирование позволяет быстро получать достоверные результаты работы модели, однако связано с технической сложностью аппаратной реализации большого количества нейроподобных элементов со многими адаптивными связями. Математическое моделирование на универсальных ЭВМ дает возможность создать практически любые модели нейронных сетей, однако из-за последовательного характера их работы пока возможно только исследование моделей ограниченного размера.

В данной работе предпринята попытка использовать нейросети в композиционном моделировании инвестиционных и инновационных проектов на осно-

ве применения универсальных ЭВМ и выявления возможных механизмов самоорганизации моделируемых процессов. Необходимо отметить, что в данном случае речь идет не о применении нейрокомпьютеров или моделей, имитирующих процесс функционирования мозга, а об использовании логики мотиваций, применяемых при построении моделей искусственных (математических) квазибиологических систем. При этом для интерпретации логики организации и функционирования этих конструкций могут использоваться аналоги потребностей биологических нейронных систем в питании, выживании, размножении и т.д. Это дает возможность применять нейросемантический инструментальный образного отображения модели-

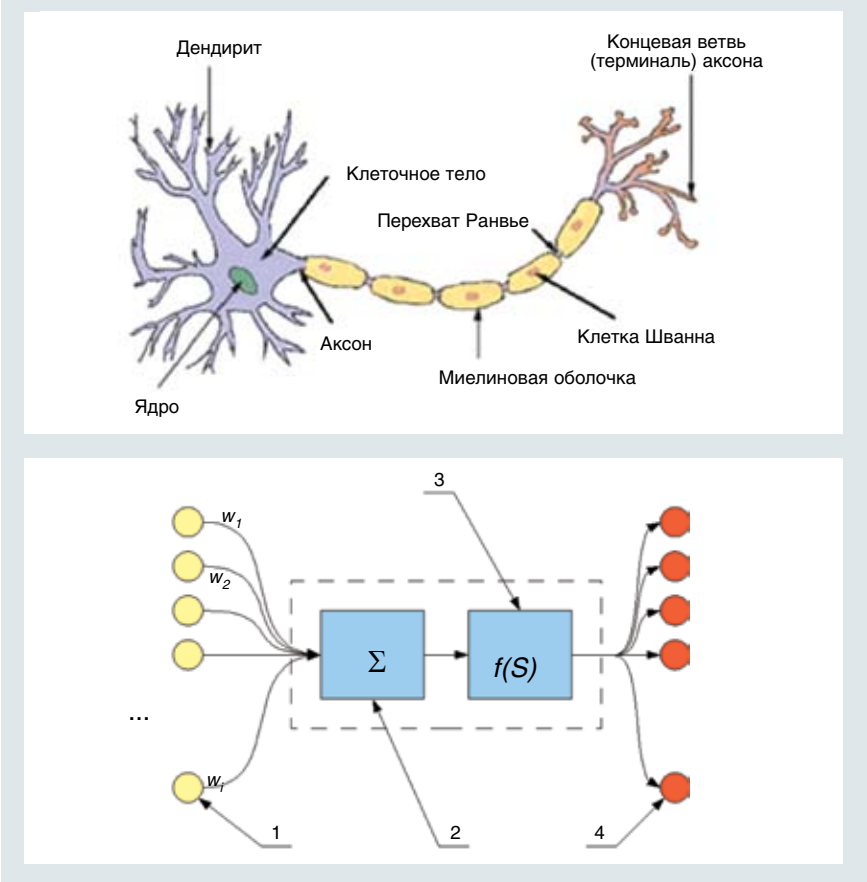
руемых сложных процессов, существенно упрощающий формализацию этих процессов и делающий процессы обучаемыми.

Нейросемантические сетевые системы используются в первую очередь в сфере информационных технологий и в значительно меньшей степени в конструировании и моделировании производственных и технико-экономических процессов. В то же время нейросемантические сетевые структуры могут быть эффективно использованы в процессе управления развитием инновационной экономики.

Типичная структура биологического нейрона и искусственного (математического) нейрона приведена на *рис. 1*.

Рисунок 1

Структурные модели биологического и искусственного нейрона: 1 — нейроны, выходные сигналы которых поступают на вход сумматора; 2 — сумматор входных сигналов; 3 — вычислитель передаточной функции; 4 — нейроны, на входы которых подается выходной сигнал сумматора; 5 —  $w_i$  — вес входных сигналов (искусственному телу клетки нейрона соответствует модель сумматора)



Нейрон представляет собой единицу обработки информации в нейронной сети. Приведенная модель нейрона включает три основных элемента:

- синапсы, которые осуществляют связь между нейронами, умножают входной сигнал  $X_i$  на весовой коэффициент синапса  $W_i$ , характеризующий силу синаптической связи;
- сумматор, аналог тела клетки нейрона. Выполняет сложение внешних входных сигналов или сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов. Определяет уровень возбуждения нейрона;
- функция активации определяет окончательный выходной уровень нейрона, с которым сигнал возбуждения (торможения) поступает на синапсы следующих нейронов.

Математический искусственный нейрон в общем случае представляется как некоторая нелинейная

функция от единственного аргумента — линейной комбинации всех входных сигналов. Эту функцию называют функцией активации или функцией срабатывания, передаточной функцией. Полученный результат посылается на единственный выход. Такие искусственные нейроны объединяются в сети — соединяют по заданным признакам выходы одних нейро-

логического нейрона. На вход искусственного (математического) нейрона поступает некоторое множество сигналов, которые, преобразовываясь, являются выходом другого нейрона. Каждый вход умножается на соответствующий вес, пропорциональный синаптической силе, и все произведения суммируются, определяя уровень активации нейрона.

## **Человеческий мозг — это естественная нейронная сеть, а модель мозга приближенно может быть представлена в виде искусственной распределенной нейронной сети.**

нов с входами других. Искусственные нейроны и сети являются основными элементами идеального нейромоделирования.

Модель нейрона имитирует в первом приближении свойства био-

Хотя сетевые парадигмы весьма разнообразны, в основе почти всех их лежит эта модель нейрона. Множество входных сигналов  $X_1, X_2, \dots, X_n$  поступает на суммирующий блок. Каждый вес соответствует «силе» одной биологической синаптической связи. Множество весов в совокупности составляют силу  $W$ . Суммирующий блок, соответствующий телу биологического элемента, суммирует взвешенные входы алгебраически, создавая выход  $Y$ . Далее выходной сигнал  $Y$  поступает на вход функции активации, определяя окончательный сигнал возбуждения или торможения нейрона на выходе. Этот сигнал поступает на синапсы следующих нейронов и т.д.

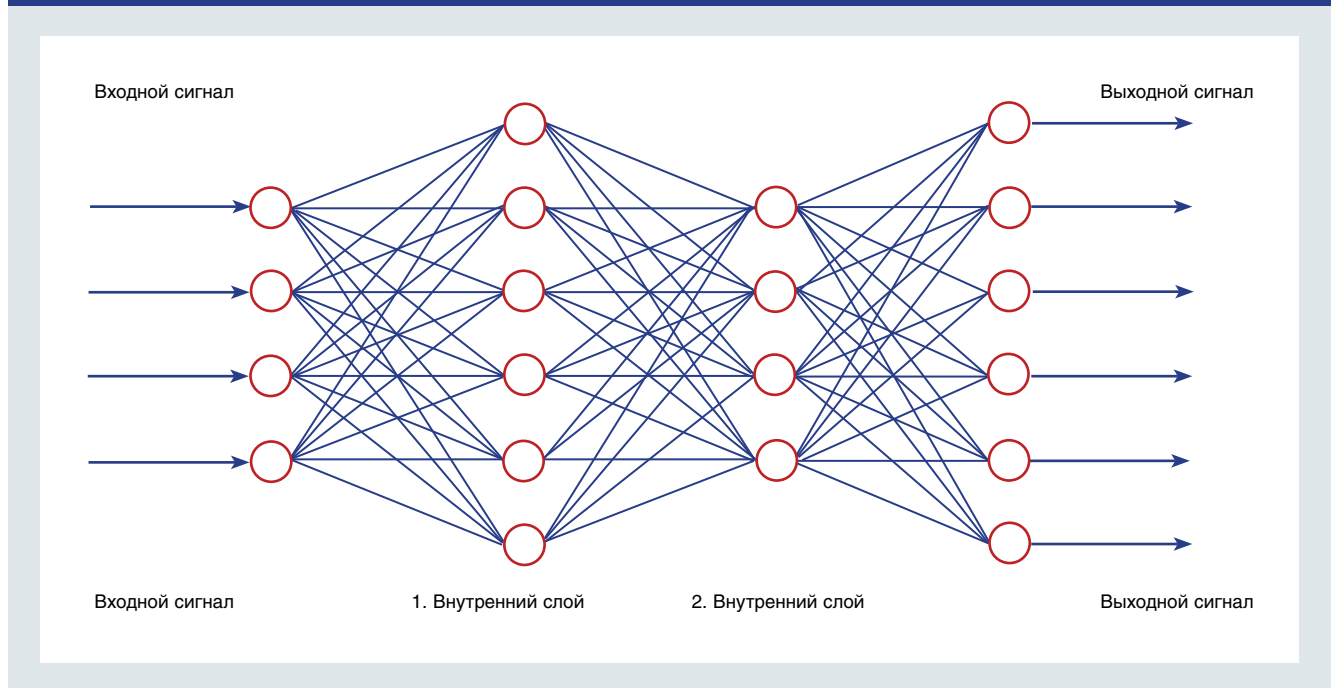
Приведенная упрощенная модель нейрона игнорирует многие свойства своего биологического аналога. В частности, она не принимает во внимание задержки во времени, которые влияют на динамику системы. Входные сигналы сразу порождают выходной сигнал. Кроме того, модель нейрона не учитывает воздействия функции частоты модуляции или синхронизирующей функции биологического нейрона.

Задача нейронной сети — преобразование информации тре-



Рисунок 2

Базовая структура искусственной нейронной сети



буемым образом. Для этого сеть предварительно обучается. При обучении используются идеальные (эталонные) значения пар <входы-выходы> или <учитель>, который оценивает поведение нейронной сети, а также так называемый обучающий алгоритм. Настраиваемая нейронная сеть не способна отображать желаемое поведение. Обучающий алгоритм модифицирует отдельные нейроны сети и веса ее связей таким образом, чтобы поведение сети соответствовало желаемому поведению. Исследователи в области нейронных сетей проанализировали множество моделей клеток человеческого мозга. Однако нередко успешное применение нейронных сетей базируется на использовании упрощенной модели нейрона.

Нейронная сеть (нейросеть) — это набор нейронов, определенным образом связанных между собой. Принято считать, что человеческий мозг — это *естественная нейронная сеть*, а модель мозга приближенно может быть представлена в виде искусствен-

ной распределенной *нейронной сети*. На *рис. 2* показана базовая структура такой искусственной нейронной сети.

В общем случае первый шаг в проектировании нейронной сети состоит в ее обучении желаемому поведению. Для этого используется так называемая обучающая выборка или учитель. Учитель — это либо математическая функция, либо лицо, которое оценивает качество поведения нейронной сети. Поскольку нейронные сети в основном используются в сложных применениях, где нет хороших математических моделей, то обучение производится с помощью обучающей выборки, то есть эталонных пар <входы-выходы>.

После завершения обучения нейронная сеть готова к использованию. Это рабочая фаза. В результате обучения нейронная сеть будет вычислять выходные сигналы, близкие к эталонным данным при соответствующих входных сигналах. При промежуточных входных сигналах сеть аппроксимирует необходимые выходные

величины. Поведение нейронной сети в рабочей фазе детерминированно, то есть для каждой комбинации входных сигналов на выходе всегда будут одни и те же сигналы. На протяжении рабочей фазы нейронная сеть не обучается. Это очень важно с точки зрения ее технического применения, поскольку система не будет стремиться к экстремальному поведению.

ПЭС 10181/03.09.2010

*Продолжение следует*

### Литература

1. <http://www.rg.ru/2010/03/23/innovacii.htm>.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс = Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. С. 1104.
3. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей = The Essence of Neural Networks First Edition. М.: Вильямс, 2001. С. 288.
4. Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. Харьков: Основа, 1997. С. 112.